

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2016.16.3.179>

JIIBC 2016-3-24

LS-DYNA 프로그램을 이용한 차량과 가드레일의 충돌해석에 관한 연구

A Study on Crash Analysis of Vehicle and Guardrail using a LS-DYNA Program

권오현*, 백세룡**, 윤준규***, 임종한****

O-Hyun Kwon*, Se-Ryong Baek**, Jun-Kyu Yoon***, Jong-Han Lim****

요약 본 연구는 차량의 도로이탈을 방지하고, 충격량을 흡수하여 차량 탑승자 및 도로주변의 인도를 횡단하는 보행자를 보호하기 위한 차량용 방호울타리에 관한 연구로서 LS-DYNA를 이용해 탑승자 보호성능 평가시험을 시뮬레이션 하였으며, 다양한 속도와 각도를 변경하여 반복 시뮬레이션을 하여 충돌조건에 따른 탑승자 보호성능을 고찰하였다. 시뮬레이션을 위한 변수의 설정은 국내차량 판매대수에 따른 평균차량의 중량을 구하고, 미국 NHTSA의 NASS를 분석하여 실제 사고가 발생하는 속도와 충돌각도구간을 검출하였다. 그 결과로 충돌속도와 충돌각도가 커질수록 THIV(탑승자 충격속도)와 PHD(탑승자 가속도) 값이 증가하는 것을 확인하였으며, 차량이 가드레일의 지주에 걸리는 현상이 발생할 때 탑승자보호성능이 크게 저하되는 것을 확인하였다.

Abstract A study is to research crash barriers for vehicles that prevent road breakaway of vehicles and protect car passengers and pedestrians as absorbing impulse. Protection performance tests on vehicle passengers were simulated by using a LS-DYNA program. Through repetitive simulation on various speed and angles, passenger protection performance according to different impact condition was contemplated. Variable setting for the simulation was calculated as the mean weight of domestic car sales. By analyzing NASS (National Automotive Sampling System) of NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) of the U.S., the actual speed and collision angle section of accidents were computed. As a result, we confirmed that THIV (Theoretical Head Impact Velocity) and PHD (Post-impact Head Deceleration) are increased according to the impact speed and angle. Also, when the vehicle hit the guardrail post, we could be confirmed that the passenger protection performance greatly decreased.

Key Words : Guardrail, LS-DYNA, THIV (Theoretical Head Impact Velocity), PHD (Post-impact Head Deceleration)

1. 서론

가드레일은 차량의 도로이탈을 방지하고, 충격 시 차량의 충격량을 흡수하여 탑승자 및 도로주변의 인도를

횡단하는 보행자를 보호하기 위한 목적으로 설치된 장치이다. 하지만 우리나라에 도로에 설치된 가드레일의 일부는 안정성 저하로 개선이 필요한 실정이다. 이에 따른 연구동향으로 Joo등^[1]은 차량방호 안전시설 성능평가 기

*준회원, 가천대학교 대학원 기계공학과

**정회원, 가천대학교 대학원 기계공학과

***정회원, 가천대학교 기계공학과

****정회원, 가천대학교 기계공학과(교신저자)

접수일자 : 2016년 4월 6일, 수정완료 : 2016년 5월 6일

게재확정일자 : 2016년 6월 10일

Received: 6 April, 2016 / Revised: 6 May, 2016 /

Accepted: 10 June, 2016

****Corresponding Author: kkjong@gachon.ac.kr

Dept. of Mechanical Engineering, Gachon University, Korea

준을 근거로 충돌해석 및 실물충돌시험을 수행하여 철재 방호울타리의 세가지 등급이 안전성과 경제성을 동시에 만족한다는 결과를 보였고, Han 등^[2]은 충돌해석을 통한 방호울타리의 설계에 대한 연구를 수행하여 콘크리트 중앙분리대의 형상 인자를 변경하여 차량과 탑승자가 받는 충격을 줄일 수 있는 최적의 형상을 도출하였으며, Min 등^[3]은 방호울타리의 충돌해석에 관한 연구를 수행하기 위해 차량의 이탈각도 및 이탈속도를 변경하여 각 시간별 변형양상과 주요 부재에 전달되는 흡수에너지를 산출하여 평가하였다. 또한 Joo 등^[4]은 LS-DYNA를 이용한 충돌시뮬레이션과 실물차량 충돌시험을 통해 철재 노측용 가드레일 보강방안을 제시하였고, Lee 등^[5]은 기존 가드레일을 개선한 충격흡수 세이프티 롤러 가드레일을 설계하여 LS-DYNA 시뮬레이션을 통해 탑승자의 위험도를 평가하였다. 그리고 Cho 등^[6]은 자동차 충돌사고의 재구성을 위한 유효충돌속도와 인체상해발생정도의 관계를 과학적으로 분석하여 관련모형을 제시하여 실제 사고에서의 활용가능성을 보였다. Jang 등^[7]은 유한요소 해석을 이용하여 최적의 비틀림 강성을 가지는 1인승 레이싱카의 프레임 해석하였다. 본 연구에서는 차량과 가드레일의 충돌 시 발생하는 현상을 LS-DYNA를 이용하여 해석하기 위해 국토교통부에서 지정한 SB3 등급의 가드레일에 중량 1.3 ton의 차량을 100 km/h, 20° 각도로 충돌하여 모델의 검증에 위한 시뮬레이션을 수행한 후, 충돌속도, 충돌각도 및 차량중량의 변경인자를 적용하여 충돌해석을 통하여 방호울타리의 탑승자 보호성능 평가 항목인 THIV(탑승자 충격속도) PHD(탑승자 가속도)를 산출하여 차량과 가드레일의 충돌에 미치는 영향을 고찰하였다.

II. 이론적 배경

1. 유한요소법

유한요소법은 연속체인 구조물을 1차원인 막대, 2차원인 삼각형이나 사각형, 3차원인 중실체(사면체, 6면체)의 유한개의 요소로 분할하여 각기의 영역에 관하여 에너지의 원리를 기초로 하는 근사해법에 의하여 계산을 해나가는 수치계산법^[8]이다. CAE 중 구조해석을 중심으로 하여 가장 많이 사용되는 방법으로 복잡한 형상의 응력해석 등을 위해 개발된 방법이다. 방대한 매트릭스 연산을 하는

것이므로 고성능의 컴퓨터가 필요하지만, 최근의 컴퓨터 발전에 의하여 퍼스널 컴퓨터로도 가능하다. 그밖에 수치계산방법에는 유한차분법, 경계요소법 등이 있다.

2. 차량방호 안전시설

차량방호 안전시설이란 차로를 이탈한 차량의 전복이나 도로변에 있는 각종 위험물과의 충돌 등과 같은 치명적인 교통사고의 피해를 줄이기 위해 설치하는 방호울타리(노측용, 중앙분리대용, 교량용)와 단부처리, 전이, 전이구간, 충격흡수시설, TMA(트럭탈부착용 충격흡수시설) 등을 말하며, 그림 1은 본 연구에 사용된 Thrie-beam 방식의 가드레일을 나타낸 것으로 Thrie-beam은 4 m, 지주는 2 m 간격으로 설치된 가드레일이다.



그림 1. Thrie-beam 가드레일
Fig. 1. Thrie-beam guardrail

3. 차량용 방호울타리의 평가

차량용 방호울타리는 국토교통부의 도로안전시설 설치 및 관리지침 제 3편 차량방호 안전시설에 근거하며, 방호울타리의 성능평가 방법은 차량방호안전시설 실물충돌시험 업무편람에 의해 성능평가방법에 의해 시험을 진행한다. 차량용 방호울타리의 성능평가는 강도성능 평가와 탑승자 보호성능평가가 있으며, 각 시험조건은 표 1과 같다. 표 1의 시험조건으로 시험된 차량은 THIV와 PHD를 평가하며, 그 기준은 표 2와 같다. THIV와 PHD는 국토교통부의 차량방호안전시설 실물충돌시험 업무편람^[9]에 의해 식 (1)과 (2)로 계산된다.

표 1. 탑승자 보호성능 평가 시험조건

Table 1. Test condition for occupant protection performance

Grade	Impact speed [km/h]	Weghit [kg _f]	Impact angle [°]
SB1	60	1,300	20
SB2, SB4	80		
SB3	100		
SB5, SB6, SB7			
SB3-B, SB5-B	120		

표 2. 탑승자 보호성능 평가항목

Table 2. Test condition for occupant protection performance

Measurement item	Criterion
Occupant protection performance	THIV : less than 33 km/h
	PHD : less than 20g

* g: 중력가속도 [9.81 m/s²]

$$THIV = [v_x^2 + v_y^2]^{1/2} \quad (1)$$

$$PHD = MAX \left[(\ddot{x}_c)^2 + (\ddot{y}_c)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

여기서, v_x 와 v_y 는 차량 좌표계에 대한 머리의 상대속도이며, \ddot{x}_c 와 \ddot{y}_c 는 0.01 s에서 평균가속도로 가속도는 순간 가속도와 평균가속도로 분류할 수 있으며 평균가속도는 속도변화량을 시간으로 나눈 값이다.

III. 차량 충돌시물레이션

1. 시물레이션 모델

본 연구를 위한 차량과 가드레일의 충돌은 LS-DYNA 시물레이션을 위한 차량과 가드레일을 설계하였다. LS-DYNA는 3차원 구조물의 동적 거동해석을 위한 비선형 유한요소 프로그램으로 현재 세계적으로 이용되는 Explicit 프로그램의 모태로 가장 널리 사용되고 있다. 다양한 종류의 접촉이론과 복잡한 문제를 시물레이션 할 수 있는 강력한 시물레이션 프로그램^[10]이다. LS-DYNA는 프로그램에서 별도의 단위계를 지정하지 않고, 사용자의 입력 값에 의해 단위가 정해진다. 차량 모델은 NCAC(National Crash Analysis Center)에서 충돌시물레이션을 위해 제작한 LS-DYNA용 Ford Taurus 모델^[11]을 사용하

였으며, SB3 등급 시험인 차량중량 1.3 ton으로 맞추기 위해 부족한 중량은 각 Node에 나누어 질량을 입력하는 방법으로 차량의 중량을 수정하였으며, 그 제원은 표 3과 같다.

표 3. 차량의 제원

Table 3. Specification of the vehicle

Maker Model	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Wheel base [mm]	Weight [ton]
Ford Taurus	4,904	1,808	1,409	2,692	1.3

표 4는 가드레일에서 적용하고 있는 재료의 물성치^[12]를 나타낸 것으로 Model A는 가드레일의 물성치를 나타낸 것으로 LS-DYNA 프로그램에서 *MAT_PLASTIC_KINEMATIC 키워드를 사용하였으며, Model B는 지반의 물성치를 나타낸 것으로 *MAT_SOIL_AND_FORM 키워드를 사용하였다.

표 4. 가드레일의 재료 물성치

Table 4. Material properties of guardrail

Model A	Mass density	7.850e-009 [ton/mm ³]
	Young's modulus	2.040e+005 [N/mm ²]
	Poisson's ratio	0.3
	Yield stress	245 [N/mm ²]
	Tangent modulus	3000 [N/mm ²]
Model B	Mass density	1.700e-009 [ton/mm ³]
	Shear modulus	6.000e+004 [N/mm ²]
	BULK	6.000e+004 [N/mm ²]
	Yield stress	245 [N/mm ²]
	Tangent modulus	3000 [N/mm ²]

가드레일의 모델은 지반, 지주, Thrie-Beam, Block-out 로 조합하여 모델링하였으며, 그림 2는 본 연구에서 적용하는 가드레일의 설계도면^[13]를 상세하게 나타낸 것이다.

2. 시물레이션 모델의 검증

가드레일의 재료 특성은 기존의 연구논문^[11]에 사용된 값을 바탕으로 제작하였다. 지반의 경우 정확한 물성치가 나타나지 않은 관계로 NCAC에서 제공하는 가드레일 모델에서 지반 모델에 들어간 물성치를 참조하여 초기 모델링하였고, 실제 차량 충돌시험과 비교하며 유사한 결과가 나올 때 까지 반복 시물레이션을 수행하였다.

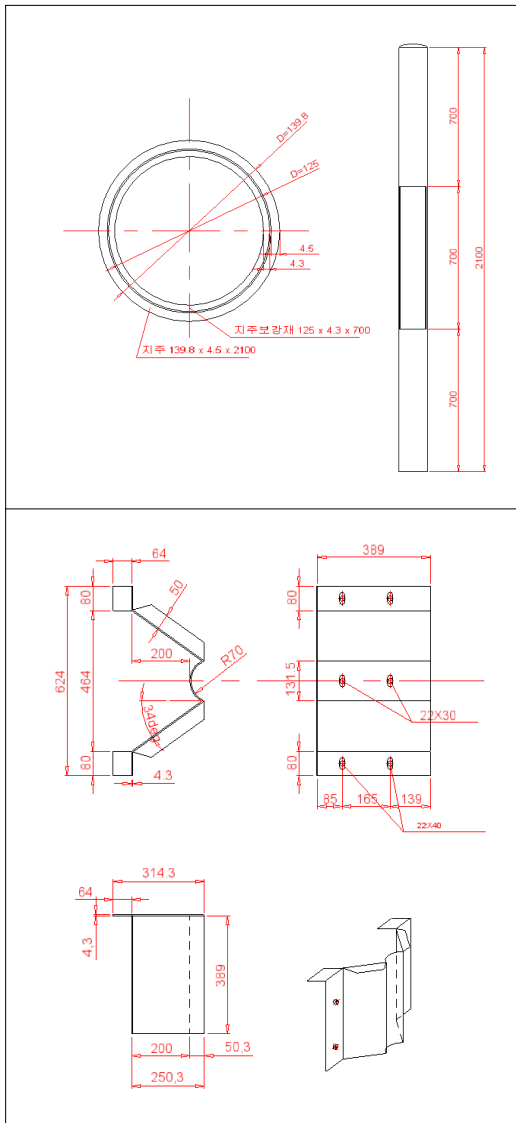


그림 2. 가드레일의 상세도
Fig. 2. Detail Drawing of the guardrail

그림 3은 실제 충돌시험과 LS-DYNA 시뮬레이션의 차량 거동을 0.05 s 간격으로 비교한 것이다. 여기서 모델 검증에 대한 해석은 차량과 가드레일이 최초 접촉하는 시간을 0.00 s로 설정하였으며, 충돌 후 이탈이 완료되는 시점인 0.30 s까지 시뮬레이션을 수행하였다. 실제 충돌 시험에서의 차량 움직임 거동영상과 시뮬레이션의 차량 거동영상을 비교하였을 때 유사한 결과를 얻어 시뮬레이션 모델을 검증하였다.

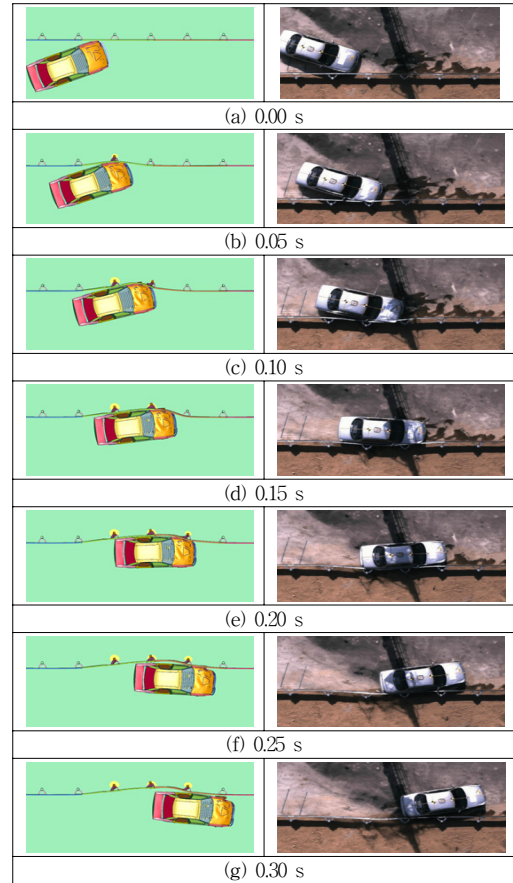


그림 3. 실차충돌시험과 시뮬레이션의 비교
Fig. 3. Comparison of vehicle crash test and simulation

4. 시뮬레이션 조건

본 연구에서는 평가를 위한 시험조건외의 다양한 조건에서의 충돌현상에 대해 알아보기 위해 국토교통부의 탑승자 보호성능 평가조건외의 다양한 변수를 설정하여 반복 시뮬레이션을 수행 하였다. 변수의 설정을 위해 미국 NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration)의 실제사고 데이터베이스인 NASS(National Automotive Sampling System)^[14]에서 가드레일에 차량이 충돌하는 사고를 분석하여 빈번하게 일어나는 충돌속도와 각도의 구간을 도출하였다. 또한 차량중량에 따른 판매량^[15]을 조사하여 2015년 전체 차량 판매량 중 70%이상의 차량이 1.3 ton을 초과하는 것을 확인하였으며, 전체 판매량과 공차중량을 계산하였을 때 차량의 평균 공차중량은 1,553 kg_f 이라는 것을 확인하였다. 또 운전가능한

연령인 19세부터 80세 이상의 평균 체중^[16]을 조사한 결과로 2014년 성인의 평균체중은 64.73 kg_f로 나타났다. 따라서 이에 근거로 차량중량을 탑승자 보호성능평가 시험조건인 1.3 ton 차량과 국내차량의 평균중량과 운전자의 무게를 포함한 1.6 ton으로 설정하여 시뮬레이션을 수행하여 차량의 거동과 가드레일의 탑승자 보호성능을 평가하여 분석할 수 있었다. 본 연구에서 수행한 시뮬레이션 입력조건은 표 5에서 나타냈으며, 시뮬레이션 횟수는 총 36회로 진행하였다.

표 5. 시뮬레이션 입력조건
 Table 5. Input condition for simulation

Vehicle weight [ton]	Impact Speed [km/h]	Crash degree [°]		
		10	20	30
1.3	10	10	20	30
	60			
	70			
	80			
	90			
	100			
1.6	50	10	20	30
	60			
	70			
	80			
	100			

IV. 실험 및 결과

방호울타리의 탑승자 보호 안전성능평가를 기준으로 수행한 시뮬레이션 결과에서 THIV와 PHD를 산출하였다. 완료된 시뮬레이션의 데이터는 해석을 수행하는 과정에서 데이터에 노이즈를 포함하기 때문에 LS-DYNA에서 제공하는 SAE 필터를 사용하였으며, THIV는 SAE 180, PHD는 SAE 60으로 필터 처리하였다. 1.3 ton, 1.6 ton 차량의 결과를 각각 정리하여 기준의 만족 여부를 확인하고, 충돌속도와 각도에 따른 경향을 조사하였다.

1. 1.3ton 차량의 THIV 특성

그림 4는 1.3 ton 차량에서 충돌속도 및 충돌각도에 따른 THIV 특성을 나타낸 것이다. 그 결과로 THIV 특성은 충돌각도 10 deg 조건에서 4.57 km/h에서 9.31 km/h까지 선형적으로 증가하였으며, 20° 조건에서도 7.23 km/h에서 27.81 km/h까지 선형적으로 증가하였다. 그리

나 충돌각도 30° 조건에서는 충돌속도 50 km/h에서 90 km/h에서 충돌각도 10°와 20°와 같이 비례 선형적으로 증가하였으나 그 이후에서 충돌속도 100 km/h영역에서 THIV가 급격히 증가함을 알 수 있었다.

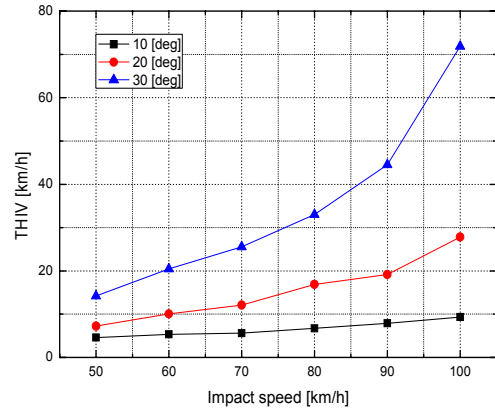


그림 4. 1.3톤 차량의 THIV 특성
 Fig. 4. THIV characteristics at 1.3 ton vehicle

이는 그림 5에서 나타난 바와 같이 차량이 충돌각도 및 충돌속도가 크게 증가함으로써 차량이 지주에 걸리는 현상이 나타나 회전이 발생하여 THIV가 급격히 증가한 것으로 사료된다.

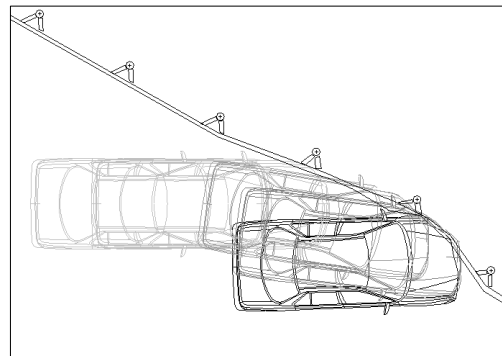


그림 5. 걸림현상에서의 차량 움직임
 Fig. 5. Motion of vehicle hit the guardrail post

그림 5는 차량이 지주에 걸리는 현상을 보여주기 위해 차량충돌 시뮬레이션을 한 결과를 나타낸 것으로 낮은 각도와 속도에서는 Thrie-beam과 지주 사이에 설치된 Block-out의 폭인 200 mm이하의 변형률을 보이며 걸리지 않고 이탈하였지만 100 km/h, 30° 조건에서는

Block-out의 폭인 200 mm이상 침투하여 차량의 운전석 앞바퀴가 지주의 하단에 걸리는 현상이 나타났다. 차량이 지주에 걸리는 현상이 발생할 때 차량의 속도가 급격히 감소하며 회전력이 발생함을 알 수 있다. 따라서 차량의 회전이 발생하는 경우 탑승자의 머리가 차량의 측면으로 이동하게 되는데 차량의 정면방향에 비해 측면은 탑승자와 내장의 공간이 협소하므로 운전자가 더 큰 충격을 받게 될 수 있다.

2. 1.3ton 차량의 PHD 특성

그림 6은 1.3 ton 차량에서 충돌속도 및 충돌각도에 따른 PHD 특성을 나타낸 것이다. 그 결과로 THIV 특성은 충돌각도 10°와 20°에서 모두 PHD 기준치인 20g 이하를 만족하였으나 충돌각도 30°의 경우에는 충돌속도 70 km/h까지 PHD 값이 10g 이하로 유지하였고, 충돌속도 80 km/h부터 급격히 증가하였다. 충돌속도 100 km/h에서는 PHD 기준치 20g를 초과하는 30g 값으로 나타났다. 이는 THIV 특성과 유사한 현상으로 판단된다.

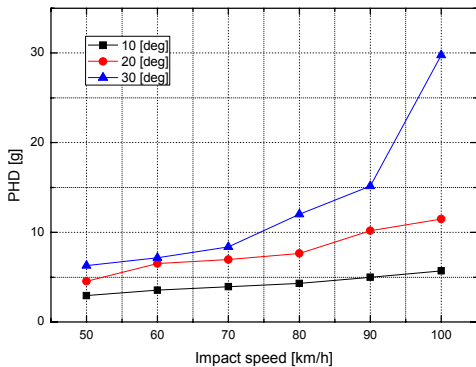


그림 6. 1.3톤 차량의 PHD 특성
Fig. 6. PHD characteristics at 1.3 ton vehicle

3. 1.6ton 차량의 THIV 특성

그림 7은 1.6 ton 차량에서 충돌속도 및 충돌각도에 따른 THIV 특성을 나타낸 것이다. 그 결과로 1.3 ton 차량과 유사하게 THIV 특성은 충돌각도 10°와 20° 조건에서 선형적으로 증가하는 양상을 나타냈으며, 충돌각도 30° 조건에서는 70 km/h 이후부터 단계적으로 급격한 변화를 보였다. 이를 분석하기 위해 그림 5와 비슷한 현상으로서 차량충돌 시뮬레이션을 통한 충돌차량의 거동을 관찰한 결과로 충돌각도 30°에서 충돌속도 90 km/h 이후의

경우에 차량이 지주에 걸리는 현상이 크게 나타남을 확인할 수 있었다.

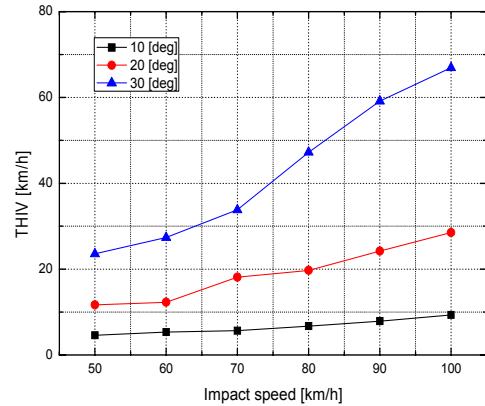


그림 7. 1.6톤 차량의 THIV 특성
Fig. 7. THIV characteristics at 1.6 ton vehicle

4. 1.6ton 차량의 PHD 특성

그림 8은 1.6 ton 차량에서 충돌속도 및 충돌각도에 따른 PHD 특성을 나타낸 것이다.

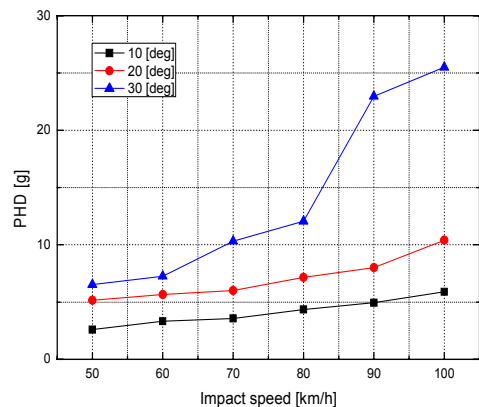


그림 8. 1.6톤 차량의 PHD 특성
Fig. 8. PHD characteristics at 1.6 ton vehicle

그 결과로 PHD 특성은 충돌각도 10° 조건에서 2.59g에서 5.90g의 결과를 나타냈으며, 20° 조건에서는 5.14g에서 10.40g의 결과를 나타냈다. 그리고 충돌각도 30° 조건에서 충돌속도 50~80 km/h까지는 6.51g에서 12.05g의 결과를 나타내어 PHD 기준을 만족시켰으며, 80, 90 km/h 조건에서는 20g를 초과하는 25.49g로 PHD 기준치를

만족시키지 못하였다. 이는 앞서 나타난 결과와 같이 차량이 역시 지주에 걸리는 현상이 발생하여 PHD 값이 급격하게 증가한 것을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 연구에서는 차량과 가드레일의 충돌 후 거동에 관한 해석연구를 위하여 실사고 사례와 차량 판매량 등을 조사하여 입력변수 충돌속도, 충돌각도 및 차량중량의 입력변수를 설정하여 LS-DYNA 프로그램을 이용하여 충돌해석을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 차량의 충돌속도, 충돌각도, 차량중량이 증가함에 따라 탑승자 보호성능 평가 조건인 THIV와 PHD 값이 증가하는 것을 확인하였으며, 차량이 지주에 걸리는 현상이 나타나는 경우 THIV와 PHD 값이 급격하게 증가하는 것을 확인하였다.
- (2) 1.3ton 차량으로 충돌속도와 충돌각도의 변화를 주고 시뮬레이션을 수행한 결과로, 10°와 20°는 모든 속도에서 범규를 만족하였으며, 30°에서는 80 km/h 이상의 속도에서 탑승자 보호성능 평가 기준에서 THIV가 33 km/h를 초과하였다. 1.6 ton 차량의 경우는 1.3 ton 차량조건과 유사하게 충돌각도 10°와 20°는 모든 속도에서 범규를 만족하였으며, 30°, 90 km/h와 100 km/h 조건에서 THIV와 PHD 모두 기준치를 초과하여 기준을 만족하지 못하였다.
- (3) 본 연구에 사용된 가드레일 모델은 차량이 지주에 걸리는 현상을 방지하기 위하여 Block-out을 지주와 Thrie-beam 사이에 설치하여 개선한 모델이지만 1.3 ton, 30°, 100 km/h 조건과 1.6 ton, 30°, 90 km/h와 100 km/h 조건에서 걸림현상이 발생하였으며, 걸림현상 발생시 탑승자 보호성능 기준을 초과하는 결과를 나타냈으므로 차량 걸림현상이 나지 않도록 구조적 개선이 필요할 것으로 생각된다.

향후 본 연구의 해석결과를 토대로 충돌에 의한 차량의 속도변화, 진입각과 이탈각, 가드레일의 변형량 등을 심층 분석하여 데이터베이스화가 이루어지면 교통사고 분석을 위한 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] J. W. Joo, B. J. Chung, D. Y. Jang, "Study on the Performance Evaluation of SB3, 4, 5 grade Safety Barriers", Korean Society of Civil Engineers, 2003.
- [2] S. Y. Han, S. H. Ko, "Design of a Protection Fence by Crashworthiness Analysis", KSMTE The Korean Society of Manufacturing Technology engineers, 2002.
- [3] H. K. Min, J. A. Jung, T. Kim, J. S. Gook, "A Study on The Crash Analysis of Guard Rail" , Journal of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 20, No. 5, pp.598-604, 2011.
- [4] J. W. Joo, D. Y. Jang, J. M. Ha, J. J. Park, "Study on Improvement Method and Performance Analysis About Occupied Existing Roadside Barriers in Expressway", Journal of Korean Society of Road Engineers, Vol. 13, No. 4, pp.9-17, 2011.
- [5] J. W. Joo, D. Y. Jang, "Study on Performance Evaluation of Reinforcement Guardrail By Improving the Existing Roadside Guardrail", Proceedings of Korean Society of Civil Engineers, pp.21-22, 2015.
- [6] J. K. Cho, J. K. Yoon and J. H. Lim, "A Study on Characteristics of Passenger Injury for Effective Impact Speed in Vehicles Frontal Collision and Rear-ender", The Journal of The Institute of Internet, Vol. 15, No. 4, pp.239-247, 2015.
<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2015.15.4.239>
- [7] W. G. Jang, "Optimal Design for Torsional Stiffness of the Tubular Space Frame of a Low-Cost Single Seat Race Car", Journal of the Korean Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 15, 10, pp.5955-5962, 2014.
<http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.10.5955>
- [8] Darly L. Logan, PWS Publishing company, "A First Course in the Finite Element Method, 2/e", 1998.
- [9] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, <http://www.molit.go.kr/>

- [10] Y. G. Jung, "LS-DYNA Program", Journal of The Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 47, No. 3, pp.56-60, 2007.
- [11] National Crash Analysis Center, <http://www.ncac.gwu.edu/>
- [12] M. G. Ko, S. U. Hong, K. D. Kim, "Superposed Simulation Data for Curb Effects on Impact to Roadside Guardrail", Journal of The Korean Society of Hazard Mitig. Vol. 14, No. 1, pp187-197, 2014.
- [13] SW Road Safety Corporation, <http://www.swdoro.com/>
- [14] National Highway Traffic Safety Administration- National Automotive Sampling System, <http://www.nhtsa.gov/NASS>
- [15] Vehicle sales figures Korea, <http://auto.danawa.com/>
- [16] Statistics Korea, <http://www.kostat.go.kr/>

윤 준 규(정회원)



- 1996년~현재 : 가천대학교 기계공학과 교수
- <주관심분야: 자동차공학, 지능형자동차 IT분야>
- e-mail : jkymoon@gachon.ac.kr

임 중 한(정회원)



- 1995년~현재 : 가천대학교 기계공학과 교수
- <주관심분야: 미래형자동차, 지능형자동차 IT분야>
- e-mail : kkjong@gachon.ac.kr

저자 소개

권 오 현(준회원)



- 2009년 방송통신대학교 행정학 학사
- 2015년~현재 가천대학교 대학원 기계공학과 석사과정 재학 중
- <주관심분야 : 자동차사고분석>
- e-mail : F1232847@dbins.net

백 세 룡(정회원)



- 2011년 경원대학교 기계·자동차 공학 학사
- 2015년 가천대학교 대학원 기계 공학 석사
- 2016년~현재 가천대학교 대학원 기계공학과 박사과정 재학 중
- <주관심분야: 자동차사고분석>
- e-mail : nugudang@naver.com